

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 267 987

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 74 13706

(54) Procédé de fabrication d'un guide d'onde optique à partir d'une préforme, préformes et fours correspondants.

(51) Classification internationale (Int. Cl.²). C 03 B 37/02; G 02 B 5/14.

(22) Date de dépôt 19 avril 1974, à 14 h 59 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — «Listes» n. 46 du 14-11-1975.

(71) Déposant : HAUSSONNE Jean-Marie et REVCOLEVSCHI Alexandre, résidant en France.

(72) Invention de :

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet René Martinet.

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un guide d'onde optique ou fibre optique par étirage d'une pré-forme comportant une région de coeur et une région de gaine telles que l'indice de réfraction de la première est supérieur à celui de la seconde; elle a trait également à un four permettant la mise en oeuvre de ce procédé, ainsi qu'à des préformes également adaptées au même procédé.

Pour que la lumière puisse se propager à l'intérieur d'un guide d'onde, il faut que le milieu de transmission présente deux indices de réfraction différents, la lumière se propageant dans le milieu d'indice supérieur et se réfléchissant sans pertes sur le milieu d'indice inférieur. Le milieu d'indice supérieur est généralement appelé le coeur de la fibre et le milieu d'indice inférieur la gaine. Plus la différence d'indice entre le coeur et la gaine est importante, plus la quantité de lumière qui s'échappe de la fibre diminue. Cependant, si l'on veut que la lumière transmise soit limitée à des modes présélectionnés, on doit choisir très soigneusement l'indice de réfraction du coeur, l'indice de réfraction de la gaine et le diamètre du coeur. Ainsi, pour un mode ayant une valeur de coupure u , on définit une valeur caractéristique R de la fibre telle qu'un mode particulier ne puisse se propager à l'intérieur de la fibre que si R est supérieur ou égal à la valeur de coupure u . Par exemple, le mode HE_{11} est le seul à se propager si R est inférieur à $2,405 \mu\text{m}$.

R est défini par l'expression :

$$R = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

où :

a est le rayon de coeur de la fibre

λ la longueur d'onde de la lumière à transmettre

n_1 l'indice de réfraction du coeur

et

n_2 l'indice de réfraction de la gaine.

Pour que le guide soit effectivement utilisable, il faut qu'il soit compatible avec les sources lumineuses actuellement disponibles; la plage de longueurs d'onde accessible est comprise entre $0,8$ et $1,06 \mu\text{m}$. Il doit présenter une atténuation totale la

plus faible possible. Le matériau dont l'atténuation minimale se situe entre 0,8 et 0,9 μm est actuellement la silice synthétique (SiO_2), qu'il est possible d'obtenir avec un degré de pureté exceptionnel, l'ajustement des indices de coeur et de gaine étant réalisé par l'apport de cations d'impuretés appropriées.

Les qualités de transmission d'un guide d'onde sont liées à l'absence quasi absolue d'impuretés indésirables dans le verre, la présence de quelques dizaines de millionièmes de métaux de transition ou d'ions OH suffisant à rendre le guide inapte à la transmission de la lumière sur de grandes distances, l'absorption de celle-ci y étant trop importante. Il est donc nécessaire de travailler dans des conditions de propreté draconiennes.

Le guide peut être constitué d'un coeur et d'une gaine comportant variation abrupte de l'indice de l'une à l'autre ou bien d'un coeur et d'une gaine tels que le passage de l'une à l'autre se fasse par une zone à gradient d'indice.

Ce gradient d'indice peut être obtenu par échange d'ions ou encore par diffusion d'ions d'une région à l'autre. Les procédés correspondants consistent généralement à disposer le verre de coeur et le verre de gaine dans deux creusets coaxiaux se terminant inférieurement par des buses également coaxiales et à chauffer l'ensemble pour porter les verres à une température, donc à une viscosité suffisante pour permettre un calibrage par étirage des deux verres. Ces procédés ont l'inconvénient majeur de ne pas permettre d'obtenir des fibres d'une composition parfaitement exempte d'impuretés étrangères.

Il est également possible de partir d'une préforme composée d'un barreau de coeur revêtu extérieurement d'un matériau de gaine déposée à partir d'une phase gazeuse (d'une manière qui sera précisée plus loin) ou d'un tube de gaine revêtu intérieurement d'un matériau de coeur, également déposé à partir d'une phase gazeuse. Mais l'obtention d'un gradient d'indice est alors difficile et surtout les procédés de chauffage employés ne donnent pas comme on va le voir entière satisfaction.

D'une façon plus précise, la fabrication d'un guide d'onde optique comprend généralement trois étapes distinctes, à savoir : la préparation des matières premières, celle de la préforme et l'étirage de la préforme en guide d'onde, cette troisième opération étant appelée ^{ici} fibrage.

L'invention concerne le fibrage et s'intéresse à la seconde étape dans la mesure où la dernière étape impose certaines exigences à la préparation de la préforme.

Or, pour donner à la préforme la viscosité et par conséquent la température nécessaire au fibrage, on utilise à ce jour comme moyens de chauffage le four à effet Joule, le four à induction haute fréquence, le chalumeau à flamme et le chalumeau à plasma.

Les fours à effet Joule et à induction haute fréquence présentent pour cette application les inconvénients suivants :

- 10 a) difficulté de réaliser à l'intérieur du four un fort gradient thermique nécessaire à l'obtention d'une bonne qualité de fibre, en évitant la diffusion d'impuretés indésirables dans le verre, en palliant les phénomènes de dévitrification et de trempe du verre, etc.;
- 15 b) risque de pollution de la préforme par des impuretés sublimées à partir des réfractaires du four;
- c) difficulté de travailler en cas de besoin sous atmosphère contrôlée (par exemple oxydante, réductrice ou neutre ou encore sous vide plus ou moins poussé);
- 20 d) difficulté d'observer visuellement l'évolution de la préforme dans le four;
- e) pertes de temps dues au délai nécessaire à porter le four à température convenable;
- f) encombrement du four;
- 25 g) limitation tenant au fait que l'apport de chaleur à la préforme ne peut se faire que dans le sens allant de l'extérieur à l'intérieur de celle-ci;
- h) limitation tenant au fait que l'étirage ne peut se faire que dans le sens vertical descendant. On sait cependant que dans le cas où la qualité de la fibre finie exige que le verre soit amené lors du fibrage à une viscosité relativement faible, il y aurait intérêt à pouvoir pratiquer l'étirage vers le haut. Dans le cas contraire en effet on est gêné par l'écoulement du verre sous l'influence de la gravité, on est obligé de faire tourner trop vite le tambour récepteur de la fibre finie, celle-ci n'a pas alors le temps de se refroidir suffisamment avant son arrivée sur le tambour, d'où risque de création de contraintes internes dans cette fibre et même de casse de celle-ci. On retrouve ainsi

l'utilité d'un fort gradient thermique pour que l'apport de chaleur sur la préforme soit très localisé et que celle-ci ne soit pas amenée à se déformer sous l'action de son propre poids.

Les chalumeaux à flamme et à plasma permettent sans doute 5 d'éviter certains des inconvénients que l'on vient de signaler notamment ceux des rubriques a), b), d), e), f) et h). Mais les autres subsistent et les risques de pollution de la préforme par des impuretés métalliques provenant de l'érosion des éléments que traversent les gaz avant d'arriver dans la flamme ou dans le 10 plasma, ou encore par des ions OH provenant de la combustion des gaz (dans le cas uniquement du chalumeau à flamme) restent préoccupants.

La présente invention a essentiellement pour but de s'affranchir dans une large mesure des inconvénients que présentent les 15 moyens de chauffage utilisés par l'art antérieur pour le fibrage d'une préforme.

A cette fin, un procédé de fabrication de guide d'onde optique par étirage d'une préforme consiste suivant l'invention à partir d'une préforme telle que l'un au moins des matériaux constitutifs 20 des régions de cœur et de gaine est doté dans la préforme d'un état physique la rendant translucide, c'est-à-dire capable d'absorber la lumière et à porter l'extrême nécessité de cette préforme à la température voulue pour qu'elle acquière la viscosité permettant l'étirage en l'avancant progressivement dans 25 l'étroite zone chaude d'un four à concentration d'énergie optique.

On peut se rendre compte dès maintenant que la quasi-totalité des inconvénients signalés ci-dessus en a) à h) des moyens de chauffage utilisés par l'art antérieur pour le fibrage d'une préforme est supprimée. En particulier on peut :

- 30 - comme par les chalumeaux, réaliser facilement un fort gradient thermique, de l'ordre de $1500^{\circ}\text{C}/\text{cm}$, positionner tout aussi facilement la préforme dans ce gradient thermique, ce qui permet d'atteindre très rapidement, donc économiquement, un régime permanent de fibrage, enfin effectuer l'étirage de la préforme vers le haut;
- 35 - mais surtout, comme ne le permet aucun des moyens de chauffage antérieurement utilisés,
- éviter tout risque de pollution de la préforme,
 - réaliser l'apport de chaleur à la préforme directement en une zone cylindrique de rayon prédéterminé,

- travailler en atmosphère contrôlée, c'est-à-dire dans un four à paroi étanche aux gaz,
- pouvoir utiliser pour constituer la préforme un matériau de cœur constituée par une poudre enfermée dans un tube en matériau de gaine, ou encore constituer les deux régions de cœur et de gaine par des poudres,
- enfin, pouvoir réaliser un gradient d'indice dans le fibre finie.

Pour mettre en oeuvre le procédé ainsi défini, l'invention propose d'utiliser un four à image, une source de lumière telle qu'une lampe à arc étant disposée en un premier foyer du four et l'extrémité de la préforme à étirer à l'autre foyer.

Un tel four à image est connu. On en trouvera des descriptions par exemple dans la littérature suivante :

- 15 - Pr. COLLONGUES : "Méthodes récentes pour l'obtention de très hautes températures. Le four à image et le chalumeau à plasma".
Sil. Industr. (mars 1962) 27 - 3, pp. 115-128.
- E. GLASER : "On the heating of materials in imaging furnaces"
Actes du VIIIème congrès céramique international de Copenhague,
20 1962, pp. 37-44.

On peut également envisager l'emploi de lasers à émission dans le proche infrarouge, par exemple au bioxyde de carbone, disposés radialement autour de ladite zone chaude.

L'invention propose enfin un certain nombre de types de préformes susceptibles de répondre aux besoins du procédé ci-dessus défini.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de plusieurs exemples de fours à image permettant la mise en oeuvre du procédé de l'invention et de plusieurs types de préformes utilisables, ainsi qu'à l'examen des dessins annexés correspondants, dans lesquels :

- la Fig. 1 est une vue en coupe schématique verticale d'un four à image dans lequel l'étirage de la préforme représenté comme se faisant vers le bas, pourrait également se faire vers le haut ;
- 35 - la Fig. 2 est une vue en coupe schématique verticale d'un four à image dans lequel l'axe principal est renvoyé à 90° par un miroir plan ;

BAD ORIGINAL

- les Figs. 3 et 4 sont des vues en coupes schématiques de pré-formes où les régions translucides constituées par des poudres frittées sont indiquées par des piquetages.

Tel qu'il est représenté à la Fig. 1, un four à image est constitué par deux miroirs elliptiques 1, 2, calottes ayant leurs concavités tournées l'une vers l'autre et tirées de deux ellipsoïdes longs de révolution autour d'un axe commun S_1S_2 , s'étendant de part et d'autre d'un foyer commun F; ces deux ellipsoïdes ne sont pas obligatoirement de mêmes dimensions. Une source de lumière 3, ici une lampe à arc, est disposée au foyer F_1 du miroir 1, l'objet à chauffer 4, ici l'extrémité effilée d'une préforme en étirage, au foyer F_2 du miroir 2, où se forme l'image de la lampe 3. La température à laquelle est porté l'objet 4 dépend de ses propriétés d'absorption de la lumière et a pour limite supérieure théorique celle de la source 3. Il faut donc pour que l'échauffement puisse se produire que l'une au moins des parties dont la pré-forme 4 est constituée absorbe la lumière et soit donc translucide.

Dans ces conditions, la préforme composite (en verres de silice diversement dopés) est rapidement portée dans une étroite zone proche de son extrémité à une température à laquelle les matériaux dont elle est composée acquièrent une viscosité suffisamment faible pour permettre l'étirage de la préforme (de diamètre D) en une fibre optique (de diamètre d) possédant les caractéristiques d'un guide d'onde.

Dans le cas de la Fig. 1, où le miroir-image est comme le miroir-source d'axe horizontal, l'étirage se fait verticalement soit vers le bas (cas de la Fig. 1), soit vers le haut.

La préforme est montée sur un mandrin (non représenté) animé d'un mouvement de translation de vitesse v; de l'autre côté, la fibre finie s'enroule sur un tambour 5 animé d'un mouvement de rotation tel que la vitesse de translation en résultant pour la fibre soit de vitesse V liée évidemment à v par la relation :

$$D^2v = d^2V$$

la valeur commune des deux membres de cette équation qui représente le débit de matière étant liée à la puissance (réglable) de la lampe, aux propriétés d'absorption de lumière de la préforme et aux pertes thermiques. En cas de besoin, on peut disposer sur l'axe commun aux deux miroirs 1, 2, un petit miroir récupérateur 6.

D'un autre côté, la vitesse v est prise de façon que la fibre ait la possibilité de se refroidir suffisamment avant son enroulement sur le tambour.

Le mandrin porteur de la préforme est en outre animé d'un mouvement de rotation de manière qu'elle soit uniformément chauffée sur tout son pourtour.

Dans l'exemple de réalisation de la Fig. 2 où les éléments homologues à ceux de la Fig. 1 sont désignés par les mêmes numéros-repères, l'axe du miroir-image 2 est vertical, les rayons lumineux issus du miroir 1 étant renvoyés à 90° par un miroir plan 7, refroidi par un courant d'eau. Dans ce cas, la préforme étant dirigée suivant l'axe du miroir-image 2 n'a plus besoin d'être entraînée en rotation par son mandrin, mais l'étirage se fait alors obligatoirement vers le haut, la fibre finie traversant une ouverture 8 pratiquée dans la partie centrale du miroir 2.

Exemple (Fig. 2)

Miroir-image

encombrements en direction axiale	7 cm
encombrements en direction perpendiculaire	30 cm

20 diamètre d'ouverture centrale

7 cm

Ensemble

encombrements en direction axiale	S ₁ OF	78 cm
	FS ₂	65 cm

Source de lumière

lampe à arc au xénon de puissance	6,5 KW
-----------------------------------	--------

25

Préforme

diamètre de cœur	4 mm
diamètre extérieur de gaine	6 mm

Fibre finie

diamètre de cœur	80 mm
diamètre extérieur de gaine	120 mm

Tambour d'enroulement de la fibre

diamètre	200 mm
----------	--------

vitesse de rotation	50 tours/minute
---------------------	-----------------

35

Vitesses de translation

de la préforme	12,56 mm/mn
de la fibre	31,42 mm/mn

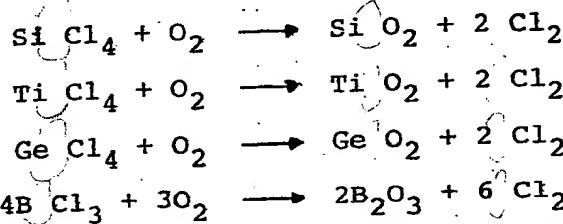
Il existe de très nombreuses façons d'obtenir une préforme

telle que l'un au moins des matériaux constitutifs des régions

40 de cœur et de gaine soit doté dans la préforme d'un état physique

le rendant translucide, c'est-à-dire capable d'absorber la lumière.

La méthode la plus intéressante au point de vue économique consiste à préparer une ou plusieurs poudres renfermant des matériaux déterminés en proportions déterminées, afin de réaliser la relation d'inégalité voulue entre les indices de réfraction des régions de cœur et de gaine. On utilisera éventuellement la réaction connue de dépôt pulvérulent à partir de phases gazeuses renfermant des chlorures de cations déterminés en proportions déterminées, par oxydation du ou des chlorure(s), suivant des schémas tels que :



Une telle poudre peut être disposée, directement ou non, à l'intérieur d'un tube creux ou à l'extérieur d'un barreau, de matériau choisi afin de réaliser la condition relative aux indices de gaine et de cœur de la fibre et par lui-même transparent, la poudre étant dans tous les cas finalement frittée, c'est-à-dire agglomérée par la chaleur, le frittage sur le barreau pouvant être précédé par un pressage isostatique de la poudre, en lui-même connu (enveloppement plongé dans un liquide hydraulique sous pression), sur le tube ou sur le barreau.

On a représenté à titre d'exemple à la Fig. 4 un tube de verre de silice transparente 11 constituant la région de gaine et à l'intérieur une poudre de verre de silice 12 finalement frittée constituant la région de cœur. On sait que dans une telle structure de préforme :

- la gaine peut être constituée par de la silice pure et le cœur par de la silice dopée par un oxyde d'un métal tel que le germanium ou le titane,
- la gaine peut être constituée par de la silice dopée par un oxyde de bore et le cœur par de la silice pure.

Mais la préforme toute entière peut être constituée par des poudres de matériaux de natures déterminées et de proportions déterminées, de façon à réaliser l'inégalité des indices (cas non

représenté), ces poudres étant compactées par pressage isostatique, au besoin sous vide, successivement, celle de coeur d'abord, celle de gaine ensuite par-dessus la précédente, l'ensemble étant finalement fritté.

- 5 On peut même réaliser en plus des régions de coeur et de gaine, une région périphérique en poudre d'un matériau déterminé, qui puisse être fibré conjointement avec les autres constituants mais d'indice quelconque puisque cette couche n'aura dans la fibre finie qu'un rôle de protection -l'ensemble étant finalement encore une fois fritté-.

- 10 15 On a représenté à titre d'exemple à la Fig. 4 une préforme comportant une région de coeur 12 en poudre de verre de silice non dopée, une région de gaine 11 en poudre de verre de silice dopée au trioxyde de bore et une région périphérique 13 en silice pure.

Dans l'une quelconque des formes de réalisation de préformes décrites ci-dessus, on peut prendre certaines mesures pour que la fibre finie accueille un gradient d'indice de réfraction au passage de la région de coeur à celle de gaine,

- 20 - soit en réalisant ce gradient d'indice dès la fabrication de la préforme, en s'arrangeant pour que la ou les régions constituées par de la poudre soient réalisées progressivement par couches superposées d'indices variant de l'une à l'autre suivant les besoins,
- soit en ne réalisant ce gradient d'indice qu'au moment de l'étrierage, l'apport d'énergie lors du chauffage de la préforme étant réalisé de façon à obtenir une diffusion des impuretés créant le gradient cherché.

Ces deux types de mesures peuvent d'ailleurs être appliqués successivement.

REVENDICATIONS

- 1.- Procédé de fabrication d'un guide d'onde optique ou fibre optique par étirage d'une préforme comportant une région de coeur et une région de gaine telles que l'indice de réfraction de la 5 première soit supérieur à celui de la seconde, caractérisé en ce que l'on part d'une préforme telle que l'un au moins des matériaux constitutifs des régions de coeur et de gaine est doté dans la préforme d'un état physique le rendant translucide, c'est-à-dire capable d'absorber la lumière et en ce que l'on porte l'extrémité 10 de cette préforme à la température voulue pour qu'elle acquière la viscosité permettant l'étirage en l'avançant progressivement dans l'étroite zone chaude d'un four à concentration d'énergie optique.
- 2.- Four d'étirage permettant la mise en oeuvre du procédé 15 selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est du type four à image, une source de lumière telle qu'une lampe à arc étant disposée en un premier foyer du four et l'extrémité de la préforme à étirer à l'autre foyer.
- 3.- Four d'étirage permettant la mise en oeuvre du procédé 20 selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est constitué par plusieurs lasers, par exemple ^{au}/oxyde de carbone, disposés radialement autour de ladite zone chaude.
- 4.- Four d'étirage selon la revendication 2 et constitué par deux miroirs elliptiques dont un miroir-source et un miroir-image, 25 caractérisé en ce qu'il est agencé de façon que l'axe du miroir-image soit horizontal et que l'étirage se fasse dans le sens vertical descendant.
- 5.- Four d'étirage selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il est agencé de façon que l'axe du miroir-image soit horizontal et que l'étirage se fasse dans le sens vertical ascendant. 30
- 6.- Four d'étirage selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il est agencé de façon que l'axe du miroir-image soit vertical et que l'étirage se fasse dans le sens vertical ascendant à travers une ouverture percée dans ce miroir-image.
- 35 7.- Four d'étirage selon l'une des revendications 2 à 6, caractérisé en ce qu'il est pourvu d'une enveloppe étanche de manière à pouvoir faire l'étirage sous atmosphère contrôlée, notamment sous vide.

8.- Préforme permettant la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisée en ce que la région de gaine est constituée par un tube en matériau transparent et la région de coeur par une poudre de matériaux déterminés en proportions déterminées de façon à réaliser avec le matériau de gaine la relation d'inégalité voulue entre les indices de réfraction des régions de coeur et de gaine.

9.- Préforme permettant la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisée en ce que la région de coeur est constituée par un barreau/transparent en matériau et la région de gaine par une poudre de matériaux déterminés en proportions déterminées de façon à réaliser avec le matériau de coeur la relation d'inégalité voulue entre les indices de réfraction des régions de coeur et de gaine.

10. 10.- Préforme permettant la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisée en ce que le coeur est constitué par une poudre compactée de matériaux déterminés en proportions déterminées, la région de gaine étant constituée par une poudre de matériaux déterminés en proportions déterminées, de manière à réaliser la relation d'inégalité voulue entre les indices de réfraction des deux régions, celle-ci étant compactée autour de la première.

11.- Préforme selon l'une des revendications 8 et 9, caractérisée en ce que les matériaux non transparents constituant la région de coeur (ou de gaine) sont obtenus par dépôt direct sur la face intérieure (ou extérieure) du tube de gaine (ou du barreau de coeur).

12.- Préforme selon l'une des revendications 8 et 9, caractérisée en ce que les matériaux non transparents constituant la région de coeur (ou de gaine) sont obtenus par dépôt préalable sur une surface convenable, puis introduits à l'intérieur du tube de gaine (ou appliqués sur le barreau de coeur).

13.- Préforme selon la revendication 12, caractérisée en ce que les matériaux non transparents rapportés constituant la région de coeur sont compactés puis frittés et finalement introduits dans le tube de gaine.

14.- Préforme selon la revendication 12, caractérisée en ce que les matériaux non transparents rapportés constituant la région

de gaine sont compactés sur le barreau constituant la région de coeur puis frittés.

15.- Préforme selon l'une des revendications 10, 13 et 14, caractérisée en ce que le compactage des poudres formant la région de coeur (ou de gaine) (ou de coeur et de gaine) est réalisé par pressage isostatique, au besoin sous vide.

16.- Préforme selon la revendication 8, caractérisée en ce que la région de gaine est constituée par un tube en verre de silice fondue renfermant ou non des impuretés déterminées en portions déterminées et la région de coeur par une poudre de verre de silice renfermant ou non des impuretés déterminées en proportions déterminées mais de façon à réaliser la relation d'inégalité voulue entre les indices de réfraction des deux régions, cette poudre de verre de silice étant obtenue par réactions connues de dépôt pulvérulent à partir d'une phase gazeuse et finalement frittée dans le tube.

17.- Préforme selon la revendication 9, caractérisée en ce que la région de coeur est constituée par un barreau en verre de silice fondue renfermant ou non des impuretés déterminées en portions déterminées et la région de gaine par une poudre de verre de silice renfermant ou non des impuretés déterminées en proportions déterminées, mais de façon à réaliser la relation voulue d'inégalité entre les indices de réfraction des deux régions, cette poudre de verre de silice étant obtenue par réactions connues de dépôt pulvérulent à partir de phases gazeuses et finalement frittée sur le barreau.

18.- Préforme selon la revendication 10, caractérisée en ce que la région de coeur est constituée par une poudre de verre de silice contenant ou non des impuretés déterminées en proportions déterminées et compactée, la région de gaine par une poudre de verre de silice contenant ou non des impuretés déterminées en proportions déterminées de façon à réaliser la relation voulue d'inégalité entre les indices de réfraction des deux régions et compactée autour de la première, les deux poudres de verre étant obtenues par réactions connues de dépôts pulvérulents à partir de phases gazeuses, et l'ensemble étant finalement fritté.

19.- Préforme selon l'une des revendications 8 à 18, caractérisée en ce que la région de gaine est entourée par une région périphérique de protection constituée par un matériau compatible

avec les constituants de la gaine et du cœur au point de vue des caractéristiques de fibrage.

20.- Préforme selon l'une des revendications 8 à 19, caractérisée en ce que la ou les régions constituées par de la poudre de matériaux déterminés en proportions déterminées sont réalisées progressivement par couches superposées accusant un gradient d'indice de réfraction.

21.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'apport d'énergie lors du chauffage de la préforme est réalisé en une zone cylindrique de rayon prédéterminé, de façon à obtenir par diffusion lors de l'étirage un gradient d'indice de réfraction.

FIG.1

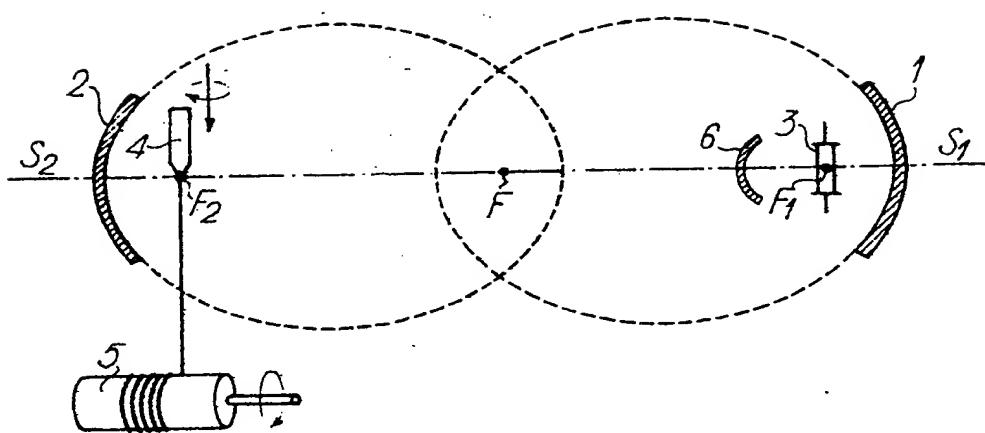


FIG.3

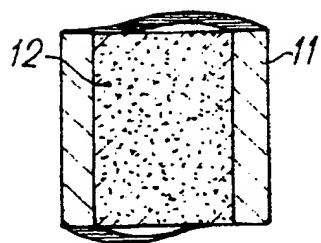
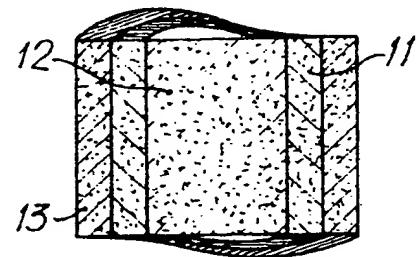


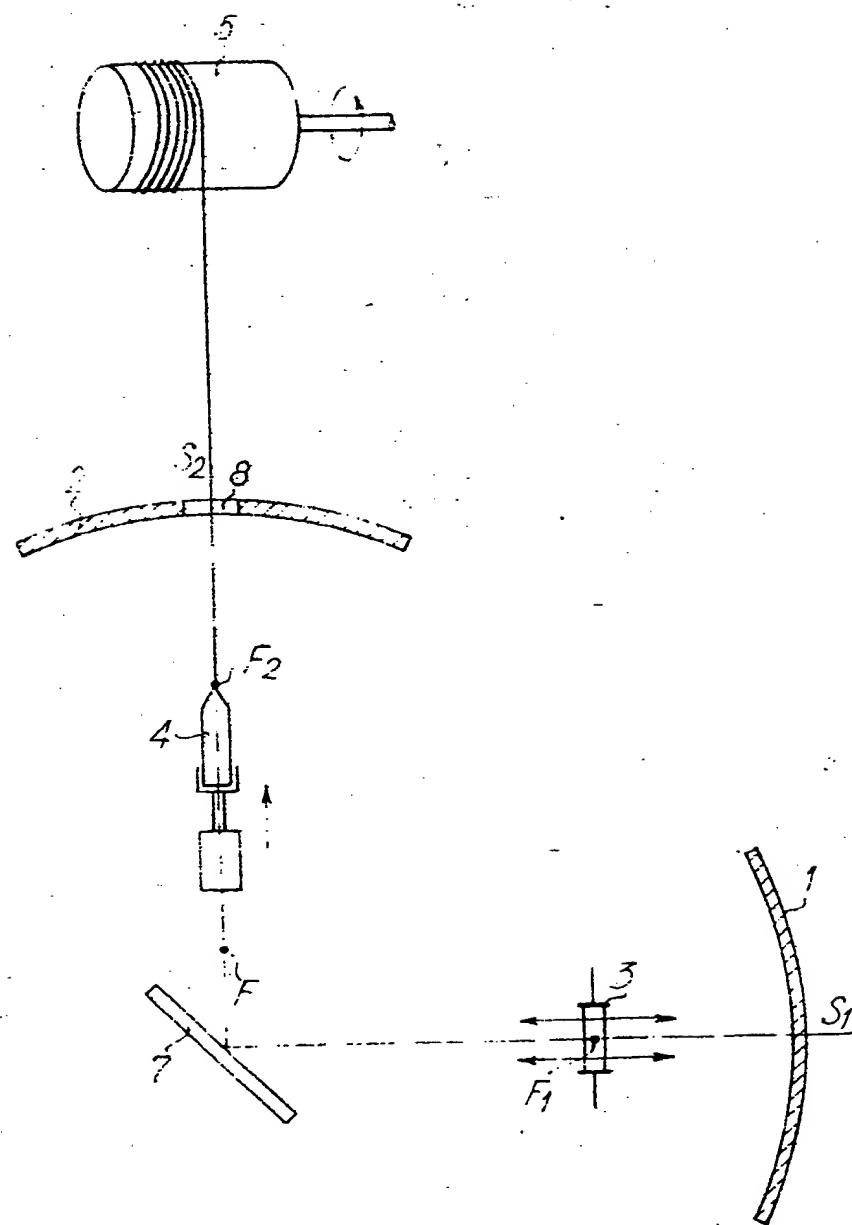
FIG.4



PL.II,2

2267987

FIG.2



BAD ORIGINAL

[Translation of French publication 2 267 987 filed on 19 April 1974 under the number 74/13706 in the name of Jean-Marie HAUSSONNE and Alexandre REVCOLEVSCHI and entitled "Method of manufacturing an optical waveguide from a preform, corresponding preforms and corresponding furnaces"]

The present invention relates to a method of 10 manufacturing an optical waveguide or optical fibre by drawing a preform comprising a core region and a cladding region which are such that the refracted index of the first is greater than that of the second; it also relates to a furnace for implementing this method, 15 and to preforms also suited to the same method.

In order for the light to be able to propagate inside a waveguide, it is necessary that the transmission medium should have two different refractive indices, the light 20 propagating through the medium of higher refractive index and reflecting without losses off the medium of lower refractive index. The medium of higher refractive index is generally known as the core of the fibre and the medium of lower refractive index is generally known 25 as the cladding. The greater the difference in index between the core and the cladding, the less light escapes from the fibre. However, if it is desired for the transmitted light to be limited to preselected modes, then the refractive index of the core, the 30 refractive index of the cladding and the diameter of the core have to be chosen with very great care. Thus, for a mode with a cut-off value u , a characteristic value R of the fibre is defined such that a particular mode can be propagated inside the fibre only if R is 35 greater than or equal to the cut-off value u . For example, the mode HE_{11} is the only one that can be propagated if R is less than $2.405 \mu\text{m}$.

R is defined by the expression:

$$R = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

where:

- 5 a is the radius of the core of the fibre
 λ is the wavelength of the light to be transmitted
 n_1 is the refractive index of the core

and

10 n_2 is the refractive index of the cladding.

For the waveguide to be actually usable, it is necessary for it to be compatible with the light sources currently available; the accessible range of wavelengths is between 0.8 and 1.06 μm. It has to exhibit the lowest possible total attenuation. The material whose minimum attenuation is between 0.8 and 0.9 μm is currently synthetic silica (SiO_2), which can be obtained with an exceptional level of purity, the core and cladding indices being adjusted by adding cations of appropriate impurities.

The transmission qualities of a waveguide are linked with the practically absolute absence of undesirable impurities in the glass, the presence of a few tenths 25 of millionths of transition elements or of OH ions being enough to make the guide unable to transmit light over great distances, its absorption therein being too great. It is therefore necessary to work under draconian conditions of cleanliness.

30 The guide may consist of a core and of a cladding comprising an abrupt variation in the index from one to the other or alternatively of a core and of a cladding which are such that the passage from one to the other 35 is via a zone with an index gradient.

This index gradient may be obtained by ion exchange or alternatively by diffusion of ions from one region to

the other. The corresponding methods generally consist in depositing the core glass and the cladding glass in two coaxial crucibles ending at the bottom in nozzles which are also coaxial and in heating the entity to
5 raise the glasses to a temperature, and therefore to a viscosity, which is good enough to allow the two glasses to be sized by drawing. These methods have the major disadvantage of not making it possible to obtain fibres with a composition that is perfectly free of
10 foreign impurities.

It is also possible to start out with a preform made up of a core rod externally coated with a cladding material deposited from a gaseous phase (in a way which
15 will be specified later on) or from a tube of cladding internally coated with a core material, also deposited from a gaseous phase. However, obtaining an index gradient is then difficult and above all the heating methods employed do not, as will be seen, prove
20 entirely satisfactory.

More specifically, the manufacture of an optical waveguide here generally comprises three separate steps, namely: preparing the raw materials, preparing
25 the preform and drawing the preform into a waveguide, this third operation being known as fibre drawing.

The invention relates to the fibre drawing and concerns the second step in that the last step imposes certain
30 requirements on the preparation of the preform.

Now, to give the preform the viscosity, and therefore the temperature, needed for fibre drawing, use is these days made, by way of heating means, of a Joule-effect
35 furnace, a high-frequency induction furnace, a flame torch and a plasma torch.

Joule-effect furnaces and high-frequency induction furnaces have the following disadvantages for this application:

- a) the difficulty of achieving, within the furnace, a steep thermal gradient needed for obtaining a good quality fibre, avoiding the diffusion of undesirable impurities into the glass, fighting against the phenomena of devitrification and hardening of the glass, etc;
- b) the risk of contaminating the preform with impurities sublimated from the furnace refractories;
- c) the difficulty in working, if necessary, under a controlled atmosphere (for example an oxidising, reducing or neutral atmosphere or alternatively under strong or weak vacuum);
- d) the difficulty of visually observing the change in the preform in the furnace;
- e) the loss of time due to the time taken to bring the furnace to the appropriate temperature;
- f) the size of the furnace;
- g) the limitation that takes account of the fact that the supply of heat to the preform can be only in the direction from the outside of the preform to the inside thereof;
- h) the limitation stemming from the fact that drawing can be done only in the downwards vertical direction. However, it is known that, when the quality of the finished fibre demands that the glass be at a relatively low viscosity during fibre drawing, it would be beneficial to be able to do the drawing upwards. This is because in the contrary situation the running of the glass under the influence of gravity constitutes a hindrance and the drum that receives the finished fibre has to be revolved too quickly and the finished fibre does not therefore have time to cool sufficiently before it arrives on the drum, hence risking the creation of internal stresses in this fibre and even the breakage thereof. The utility of a steep thermal gradient is found again here, so that the supply of

heat to the preform is highly localized and the preform is not made to deform under the action of its own weight.

5 Flame and plasma torches undoubtedly make it possible to avoid some of the disadvantages that have just been pointed out, particularly those of sections a), b), d), e), f) and h). However, the others remain and the risks of contaminating the preform with metallic impurities 10 from the erosion of the elements through which the gases pass before arriving in the flame or in the plasma, or alternatively with OH ions from the combustion of the gases (in the case of the flame torch only) remain a concern.

15

The object of the present invention is essentially to get away to a large extent from the disadvantages that the heating means used in the prior art for fibre drawing of preform exhibit.

20

To this end, a method of manufacturing an optical waveguide by drawing a preform consists, according to the invention, starting out from a preform such that at least one of the materials that make up the core and 25 cladding regions is endowed, in the preform, with a physical state that makes it translucent, that is to say capable of absorbing light, and in bringing the end of this preform to the desired temperature so that it acquires the viscosity that will allow drawing to be 30 performed, advancing gradually through the narrow hot zone of a furnace in which there is a concentration of optical energy.

It can now be appreciated that practically all of the 35 disadvantages pointed out above as a) to h) of the heating means used in the prior art for fibre drawing a preform are eliminated. In particular, it is possible:
- like with the torches, easily to achieve a steep thermal gradient, of the order of 1500°C/cm, to

position the preform just as easily in this thermal gradient, making it possible very quickly and therefore very economically to reach a steady fibre-drawing set of conditions so that the preform can be drawn upwards;

5 - and above all, and this is something which none of the previously used heating means would allow:

- to avoid any risk of contaminating the preform,
- to supply heat to the preform directly in a cylindrical zone of predetermined radius,

10 - to work in a controlled atmosphere, that is to say in a furnace with gastight walls,

- to be able to use, to form the preform, a core material consisting of a powder contained in a tube made of a cladding material, or alternatively to form 15 the two core and cladding regions using powders,

- and finally, to be able to achieve an index gradient in the finished fibre.

To implement the method thus defined, the invention 20 proposes the use of an image furnace, a source of light such as an arc lamp being arranged at a first focal point of the furnace and the end of the preform that is to be drawn being arranged at the other focal point.

25 Such an image furnace is known. Descriptions thereof will be found, for example, in the following literature:

- Pr. COLLONGUES: "Méthodes récentes pour l'obtention de très hautes températures. Le four à 30 image et le chalumeau à plasma" ["Recent methods for obtaining very high temperatures. The image furnace and the plasma torch"] Sil. Industr. (March 1962) 27-3, pp. 115-128.

- E. GLASER: "On the heating of materials in imaging 35 furnaces" Acts of the VIIIth International Ceramics Congress at Copenhagen, 1962, pp. 37-44.

It is also possible to envisage the use of lasers that emit in the near infrared, for example carbon dioxide lasers, arranged radially around the said hot zone.

- 5 The invention finally proposes a certain number of types of preform capable of meeting the requirements of the method defined hereinabove.

The invention will be better understood from reading
10 the description which follows of several examples of image furnaces for the implementation of the method of the invention and of several types of preform that can be used, and from examining the corresponding appended drawings, in which:

15

- Figure 1 is a schematic view in vertical section of an image furnace in which the drawing of the preform, which is depicted as being done downwards, could just as easily be done upwards;
- 20 - Figure 2 is a schematic view in vertical section of an image furnace in which the main axis is turned at 90° by a flat mirror;
- Figures 3 and 4 are schematic views in section of preforms in which the translucent regions consisting of 25 sintered powders are shown by dotting.

As depicted in Figure 1, an image furnace consists of two cup-shaped elliptical mirrors 1, 2, having their concave faces facing one another and drawn from two 30 long ellipsoids of revolution about a common axis S_1 , S_2 , extending one on each side of a common focal point F; these two ellipsoids are not necessarily of the same size. A light source 3, here an arc lamp, is arranged at the focal point F_1 of the mirror 1, the object to be 35 heated 4, here, the tapered end of a preform for drawing, being arranged at the focal point F_2 of the mirror 2, where the image of the lamp 3 is formed. The temperature to which the object 4 is raised depends on its light-absorption properties and its theoretical

upper limit is that of the source 3. It is therefore necessary, in order that heating can take place, for at least one of the parts of which the preform 4 is made to absorb light and therefore to be translucent.

5

Under these conditions, the composite preform (made of variously doped silica glasses) is quickly raised, in a narrow zone close to its end, to a temperature at which the materials of which it is made acquire a viscosity 10 which is low enough to allow the preform (of diameter D) to be drawn into an optical fibre (of diameter d) having the characteristics of a waveguide.

In the case of Figure 1 in which the image mirror, like 15 the source mirror, has a horizontal axis, drawing is done vertically either downwards (the case of Figure 1) or upwards.

The preform is mounted on a mandrel (not depicted) 20 given a translational movement of speed v; on the other side, the finished fibre is wound onto a drum 5 given a rotational movement such that the resulting translational speed of the fibre is a speed V which is naturally linked to v by the relationship:

25

$$D^2v = d^2v$$

the common value of the two parts of this equation which represents the flow rate of material being linked 30 to the (adjustable) power of the lamp, to the light-absorption properties of the preform and to the thermal losses. If need be, a small recovery mirror 6 may be arranged on the axis common to the two mirrors 1, 2. From another point of view, the speed v is kept such that the fibre is able to cool enough before it is 35 wound onto the drum.

The mandrel carrying the preform is also given a rotational movement so that it is heated uniformly around its entire periphery.

In the exemplary embodiment of Figure 2 in which the elements which are similar to those of Figure 1 are denoted by the same reference numbers, the axis of the
5 image mirror 2 is vertical, the rays of light from the mirror 1 being turned at 90° by a flat mirror 7, cooled by a stream of water. In this case, with the preform directed along the axis of the image mirror 2, it no longer needs to be rotated by its mandrel, but drawing
10 has to be done upwards, the finished fibre passing through an opening 8 made in the central part of the mirror 2.

Example (Figure 2)

15 Image mirror

size in the axial direction	7 cm
size in the perpendicular direction	30 cm
diameter of the central opening	7 cm

Entity

20	S ₁ OF	78 cm
	size in the axial direction	

FS₂ 65 cm

Light source

xenon arc lamp with a power of	6.5 kW
--------------------------------	--------

25 Preform

core diameter	4 mm
cladding outside diameter	6 mm

Finished fibre

30	core diameter	80 mm
	cladding outside diameter	120 mm

Fibre winding drum

diameter	200 mm
rotational speed	50 revolutions/minute

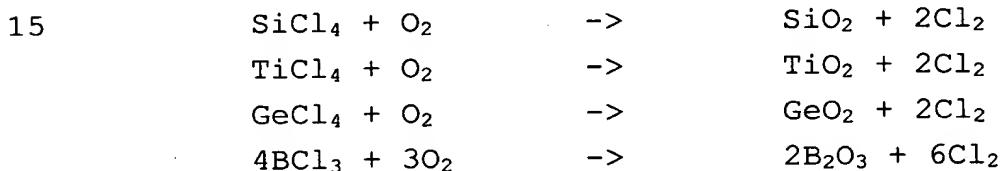
Translational speeds

35	of the preform	12.56 mm/min
	of the fibre	31.42 mm/min

There are a great many ways of obtaining a preform such that at least one of the materials of which the core

and cladding regions are made is endowed, in the preform, with a physical state that makes it translucent, that is to say capable of absorbing light.

5 The method which is most advantageous from the economical point of view consists in preparing one or more powders containing determined materials in determined proportions so as to achieve the desired inequality relationship between the refractive indices
10 of the core and cladding regions. Use may possibly be made of the known reaction of pulverulent deposition from gaseous phases containing chlorides of determined cations in determined proportions by oxidation of the chloride(s), according to formulae such as:



20 Such a powder may be deposited, directly or indirectly, on the inside of a hollow tube or on the outside of a rod of a material chosen so as to achieve the condition relating to the cladding and core indices of the fibre and thereby transparent, the powder in all cases
25 finally being sintered, that is to say agglomerated using heat, it being possible for sintering on the rod to be preceded by isostatic pressing of the powder, known per se (envelopment plunged into a hydraulic liquid under pressure) on the tube or on the rod.

30 Figure 4 depicts, by way of example, a tube 11 of transparent silica glass constituting the cladding region and, inside it, a powder 12 of silica glass which is finally sintered to form the core region. It
35 is known that in such a preform structure:
- the cladding may consist of pure silica and the core may consist of silica doped with an oxide of a metal such as germanium or titanium,

- the cladding may consist of silica doped with an oxide of boron and the core may consist of pure silica.

However, the entire preform may consist of powders of
5 materials of determined natures and determined proportions so as to achieve the inequality of the indices (a scenario which has not been depicted), these powders being compacted by isostatic pressing, under vacuum if necessary, in succession, core first then
10 cladding afterwards over the previous one, the entity finally being sintered.

It is even possible in addition to the core and cladding regions to produce a peripheral region made of
15 a powder of a determined material which can be fibre drawn together with the other constituents but which has any index whatsoever because this layer will, in the finished fibre, merely play a protective role, the entity finally once again being sintered.

20 Figure 4 depicts, by way of example, a preform comprising a core region 12 made of undoped silica glass powder and a cladding region 11 made of silica glass powder doped with boron trioxide and a peripheral region 13 made of pure silica.

In any one of the preform embodiments described hereinabove, certain steps can be taken to ensure that the finished fibre has a refractive-index gradient from
30 the core region to the cladding region,

- either by producing this index gradient at the time of manufacture of the preform by contriving for the region or regions made of powder to be produced gradually in superposed layers with indices that vary
35 from one to the next as required,
- or by producing this index gradient only at the time of drawing, the supply of energy during the heating of the preform being done in such a way as to

cause the impurities to diffuse thus creating the desired gradient.

These two types of step may, incidentally, be applied
5 in succession.

CLAIMS

1. Method of manufacturing an optical waveguide or optical fibre by drawing a preform comprising a core region and a cladding region which are such that the refracted index of the first is greater than that of the second, characterized in that the starting point is a preform such that at least one of the materials that make up the core and cladding regions is endowed, in the preform, with a physical state that makes it translucent, that is to say capable of absorbing light, and in that the end of this preform is raised to the desired temperature so that it acquires the viscosity that will allow drawing to be performed, advancing gradually through the narrow hot zone of a furnace in which there is a concentration of optical energy.
- 20 2. Drawing furnace allowing implementation of the method according to Claim 1, characterized in that it is of the image furnace type, a source of light such as an arc lamp being arranged at a first focal point of the furnace and the end of the preform that is to be drawn being arranged at the other focal point.
- 30 3. Drawing furnace for implementation of the method according to Claim 1, characterized in that it consists of several lasers, for example carbon dioxide lasers, arranged radially around the said hot zone.
4. Drawing furnace according to Claim 2 and consisting of two elliptical mirrors one of which is a source mirror and the other of which is an image mirror, characterized in that it is arranged in such a way that the axis of the image mirror is

horizontal and that drawing is in a downwards vertical direction.

5. Drawing furnace according to Claim 2,
characterized in that it is arranged in such a way
that the axis of the image mirror is horizontal
and such that drawing is in the upwards vertical
direction.

- 10 6. Drawing furnace according to Claim 2,
characterized in that it is arranged in such a way
that the axis of the image mirror is vertical and
that drawing is in the upwards vertical direction
through an opening pierced in this image mirror.

- 15 7. Drawing furnace according to one of Claims 2 to 6,
characterized in that it is provided with a sealed
casing so that drawing can be performed under a
controlled atmosphere, particularly under vacuum.

- 20 8. Preform for the implementation of the method
according to Claim 1, characterized in that the
cladding region consists of a tube made of
transparent material and the core region consists
of a powder of determined materials in determined
proportions so as to produce, with the cladding
material, the desired inequality relationship
between the refractive indices of the core and
cladding regions.

- 30 9. Preform for the implementation of the method
according to Claim 1, characterized in that the
core region consists of a rod of transparent
material and the cladding region consists of a
powder of determined material in determined
proportions so as to produce, with the core
material, the desired inequality relationship
between the refractive indices of the core and
cladding regions.

10. Preform for the implementation of the method according to Claim 1, characterized in that the core consists of a compacted powder of determined materials in determined proportions, the cladding region consisting of a powder of determined materials in determined proportions, so as to produce the desired inequality relationship between the refractive indices of the two regions, this powder being compacted around the first powder.
5
11. Preform according to one of Claims 8 and 9, characterized in that the non-transparent materials of which the core (or cladding) region is made are obtained by direct deposition on the interior (or exterior) face of the cladding tube (or of the core rod).
15
12. Preform according to one of Claims 8 and 9, characterized in that the non-transparent materials of which the core (or cladding) region is made are obtained by a prior deposition onto an appropriate surface, and are then introduced into the cladding tube (or applied to the core rod).
20
13. Preform according to Claim 12, characterized in that the attached non-transparent materials of which the core region is made are compacted then sintered and finally introduced into the cladding tube.
25
14. Preform according to Claim 12, characterized in that the attached non-transparent materials of which the cladding region is made are compacted onto the rod that forms the core region, then sintered.
30
15. Preform according to one of Claims 10, 13 and 14, characterized in that the compacting of the
35

powders that form the core (or cladding) (or core and cladding) region or regions is carried out by isostatic pressing, under vacuum if need be.

- 5 16. Preform according to Claim 8, characterized in
 that the cladding region consists of a tube made
 of molten silica glass which may or may not
 contain determined impurities in determined
 proportions, and the core region consists of a
10 silica glass powder which may or may not contain
 determined impurities in determined proportions,
 but in such a way as to achieve the desired
 inequality relationship between the refractive
15 indices of the two regions, this silica glass
 powder being obtained by known reactions of
 pulverulent deposition from a gaseous phase, and
 finally sintered in the tube.
- 20 17. Preform according to Claim 9, characterized in
 that the core region consists of a molten silica
 glass rod which may or may not contain determined
 impurities in determined proportions and the
 cladding region consists of a silica glass powder
25 which may or may not contain determined impurities
 in determined proportions, but in such a way as to
 achieve the desired inequality relationship
 between the refractive indices of the two regions,
 this silica glass powder being obtained by known
30 reactions of pulverulent deposition from gaseous
 phases and finally sintered onto the rod.
- 35 18. Preform according to Claim 10, characterized in
 that the core region consists of a silica glass
 powder which may or may not contain determined
 impurities in determined proportions and which is
 compacted, the cladding region consists of a
 silica glass powder which may or may not contain
 determined impurities in determined proportions so
 as to produce the desired inequality relationship

between the refractive indices of the two regions
and which is compacted around the first powder,
the two glass powders being obtained by known
reactions of pulverulent deposition from gaseous
5 phases, and the whole entity finally being
sintered.

19. Preform according to one of Claims 8 to 18,
characterized in that the cladding region is
10 surrounded by a protective peripheral region
consisting of a material compatible with the
constituents of the cladding and of the core from
the fibre-drawing properties point of view.
- 15 20. Preform according to one of Claims 8 to 19,
characterized in that the region or regions made
of powder of determined materials in determined
proportions are produced gradually by superposed
layers affording a refractive index gradient.
20
21. Method according to Claim 1, characterized in that
the supply of energy during the heating of the
preform is achieved in a cylindrical zone of
predetermined radius, so as to obtain, by
25 diffusion during drawing, a refractive-index
gradient.